

Mähdrescher

Stefan Böttinger,

Institut für Agrartechnik, Fg. Grundlagen der Agrartechnik, Universität Hohenheim, Stuttgart

Kurzfassung

Im Berichtszeitraum gab es mehrere Tagungen mit Schwerpunkten zur Getreideernte. Sehr stark zugenommen haben die Publikationen zur Simulation der Förder-, Entmischungs- und Reinigungsvorgänge im Mähdrescher. Die Weiterentwicklung der Antriebstechnik fokussiert sich auf die Optimierung bestehender hydrostatischer oder mechanischer Antriebe sowie der Diskussion zu elektrischen Antrieben.

Schlüsselwörter

Mähdrescher, Marktentwicklung, Stoffeigenschaften, Simulation, Automatisierung

Combine Harvester

Stefan Böttinger,

Institute of Agricultural Engineering, Fundamentals of Agricultural Engineering, University of Hohenheim, Stuttgart, Germany

Abstract

During the reporting period several meetings with emphasis on grain harvest have took place. Publications about the simulation of transport, separation and cleaning processes in the combine have increased by number. The development of drive technology focused on optimizing of the existing hydrostatic or mechanical drives as well as the discussion of electric drives.

Keywords

combine harvester, market development, physical properties, simulation, automation

Allgemeines und Marktentwicklung

Die Mähdreschermärkte haben sich im Saisonjahr 2012/13 recht unterschiedlich entwickelt, **Bild 1**. In Nordamerika ist der Absatz um 8 % auf ca. 13 717 Einheiten angestiegen. Damit ist der Markt dort nun im fünften Jahr in Folge auf einem recht hohen Niveau von über 12 000 Stück. Die Märkte in Westeuropa verhalten sich nicht einheitlich: der Gesamtmarkt reduzierte sich um knapp 3 % auf ca. 7 000 Einheiten. In Deutschland stieg dagegen der Absatz um 4,8 % auf 2 058 Maschinen. Die landwirtschaftlichen Unternehmen in Russland investieren weiterhin sehr wenig in Neumaschinen. So sank der Absatz um 30 % von 7 436 in 2012 auf 5 141 Maschinen in 2013 [1 bis 3].

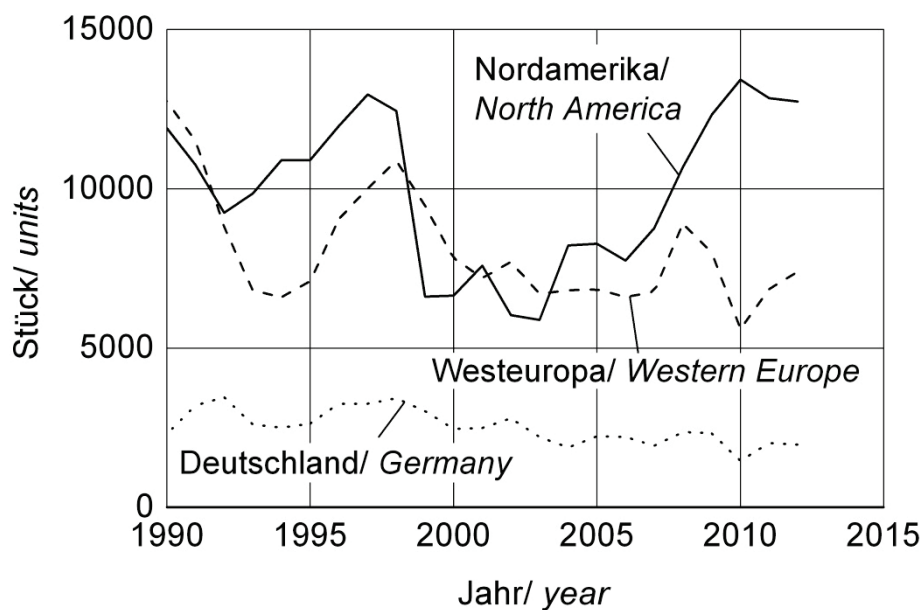


Bild 1: Entwicklung wichtiger Mähdreschermärkte [3]

Figure 1: Development of important combine markets [3]

Im Berichtszeitraum haben mehrere wichtige nationale und internationale Tagungen stattgefunden, auf denen Beiträge zur Technik der Getreideernte präsentiert wurden [4 bis 9]. Auf der Messe Agritechnica 2013 in Hannover wurden von den Herstellern für den Bereich der Getreideernte eine Vielzahl von Verbesserungen im Detail sowie zahlreiche Neuheiten präsentiert und zum Teil mit Gold- und Silbermedaillen honoriert [10]. Mit zunehmender Größe und Komplexität wird die Bedeutung des Bedieners der Erntemaschine immer wichtiger. Deshalb werden von den meisten Herstellern Schulungen für die Fahrer angeboten. Claas präsentierte einen Online-Simulator für die Mähdrescherbedienung. Er greift auf zentral hinterlegte Telemetrie- und Prozessdaten sowie virtuelle Steuergeräte zu. Somit können weitgehend reale Betriebsabläufe abgebildet und in Ruhe erprobt werden.

Zur Fahrerentlastung und zur Prozessoptimierung wurden weitere neue Funktionalitäten gezeigt. Case präsentierte eine kontinuierliche Korntank-Füllstandsmessung. Mit ihr kann

beispielsweise die Abfuhrlogistik präziser geplant werden. Bei der Claas Grain Quality Cam erfasst eine Kamera im kontinuierlichen Gutstrom am Kopf des Körnererelevators die Anteile an Bruchkorn und an Verunreinigungen. Diese werden dem Fahrer angezeigt und er oder eine Automatik können mit Anpassung der Maschineneinstellungen darauf reagieren. Ebenfalls von Claas wurde eine Wurfrichtungsanpassung für deren Strohhäckselverteiler vorgestellt. Zwei recht einfach gestaltete Sensoren am Heck des Mähdreschers erfassen dazu den Seitenwind und die Hangneigung [11]. John Deere fast mit seiner Integrated Harvest Automation die Schneidwerksführung, die interaktive Mähdreschereinstellung und die Automatisierung des Überladevorgangs prozessübergreifend zusammen. Diese Lösung wird für alle Mähdrescher der W-, T- und S-Serie angeboten. New Holland bietet mit Opti Speed für seine Schüttlermaschinen eine variable Schüttlerdrehzahl an. Unterschiedliche Drehzahlen für die verschiedenen Druschfrüchte werden zudem noch in Abhängigkeit der Neigung bei Berg- und Talfahrt angepasst. Eine reduzierte Drehzahl bei Bergfahrt bzw. eine erhöhte Drehzahl bei Talfahrt soll für eine gleichmäßige Gutschichtdicke auf den Schüttlern sorgen [12].

New Holland verbessert für seine Axialmähdrescher den Gutfluss zu den Dresch- und Abscheiderotoren durch einen Zuführrotor. Dieser ist mit einer Steinfangmulde kombiniert und hinter dem verkürzten Schrägkettenförderer angeordnet. Für den Straßentransport wird von Cressoni nun ein 8- bzw. 12-reihiges Maisgebiss angeboten. Durch neuartige Klapp- und Drehtechnik kann es auf eine Transportbreite von 3,5 m reduziert werden.

Für die Vorderachsen von Mähdreschern werden vermehrt Reifen angeboten, die auch mit reduziertem Luftdruck von z.B. 1,6 bar im Feld und auf der Straße betrieben werden können. Verbesserungen bei Raupenlaufwerken von New Holland sorgen für eine gleichmäßigere Verteilung der Gewichtskräfte auf der Aufstandsfläche und erlauben nun auch Fahrgeschwindigkeiten von 40 km/h. Eine geänderte Anlenkung der Hinterachse bei Claas ermöglicht den Einsatz von Rädern mit größerem Durchmesser [13]. In Kombination mit der gezeigten Reifenluftdruckregeleinrichtung können diese Räder nun auf dem Feld bodenschonender eingesetzt werden.

Mähdruschkonzepte und Getreideernte international

Einen Überblick über Forschungsarbeiten im Bereich Mähdrescher ist in [14 bis 16] gegeben. Für die Weiterentwicklung der üblichen Maschinenkonzepte wurden neue Anregungen gegeben [16 bis 18]. Neben der Erhöhung der Maschineneffizienz durch weitere Automatisierung mit z.B. verbesserter und neuer Sensorik für die Prozesse steht weiterhin das Größenwachstum im Fokus der Entwickler. Durch Leichtbau und neue Fahrwerkskonzepte könnte die Zunahme der Gewichte begrenzt und die Bodenschonung erhalten bleiben.

Die unterschiedlichen Klimaregionen innerhalb von Europa erfordern angepasste Lösungen für die regionale Getreideernte. Einen Einblick in die Anforderungen aus Schweden und die hierfür in dem Land durchgeführten Forschungsarbeiten sind in [19] dargestellt. Den Status und die Entwicklung der Getreideernte in Asien wird detailliert in [20; 21] beschrieben. Die optimale Maschineneinstellung und die Anpassentwicklung von Baugruppen für die Ernte von speziellen Druschfrüchten sowie die Eignung von modernen Ertragssensoren in indischen Mähdreschern wird beschrieben in [22 bis 24].

Der Klimawandel wirkt sich auch auf die verfügbaren Mähdruschstunden und die Erntezeitspannen aus. Mit Hilfe verbesserter Modellierungen und detaillierterer Datenbasis wurden die heute verfügbaren Mähdruschstunden auch für unterschiedliche Kornfeuchten berechnet und dargestellt [25; 26].

Dreschen, Trennen, Reinigen

Innerhalb des Berichtszeitraumes wurde relativ wenig zur Weiterentwicklung der Dresch-, Trenn- und Reinigungseinrichtungen publiziert. Rademacher untersuchte den Einfluss unterschiedlicher Einstellungen bzw. Einstellstrategien auf das Arbeitsergebnis des Mähdreschers [27]. Die Änderungen sollten nicht im Stand der Maschine sondern während der Arbeit vorgenommen und dabei die Abhängigkeiten der einzelnen Arbeitsprozesse voneinander berücksichtigt werden. Die Erfolgskontrolle ist durch die in den Maschinen vorhandenen Sensoren begrenzt. Für detaillierte Untersuchungen empfiehlt er deshalb den Einsatz von Verlustschalen [28]. Umfassendere Versuchsanstellungen erfordern mehr und präzisere Messdaten, die bspw. mit angepasster Wiegemesstechnik ermittelt werden können [29].

In Hohenheim wurden die Untersuchungen zur Förderung und Entmischung auf einem konventionellen Vorbereitungsboden beendet [30]. Für eine an Durchsatz und Hangneigung angepasste Schwingfrequenz können aus dieser Arbeit entsprechende aktuelle Grundlagen entnommen werden.

Schneidwerke und Strohmanagement

Die auf die Arbeitsbreite bezogene Masse von Schneidwerken nimmt mit zunehmender Breite ab. Nach Herstellerangaben liegt sie für Schneidwerke mit 6 m Arbeitsbreite zwischen 250 und 430 kg/m, mit 12 m Arbeitsbreite zwischen 200 und 330 kg/m [3]. Neben den Massen begrenzt auch die maximale Länge des Transportzuges das weitere Vergrößern der Arbeitsbreite. Hierzu wurde ein neues Konzept mit einem für den Transport angehängtem, klappbarem Schneidwerk vorgestellt [31]. Zur Vermeidung von Rüstzeiten für das Umhängen des Schneidwerks wird alternativ eine zweite Fahrerkabine vorgeschlagen und das geklappte Schneidwerk mit eigenem Fahrwerk, gekoppelt an den Schrägförderer, vor der Maschine belassen. Die zweite Kabine befindet sich hinten am Mähdrescher mit Blickrichtung entgegen der üblichen Fahrtrichtung. Der gesamte Zug wird von ihr aus dann mit Vorderachslenkung betrieben.

Die Anbindung von Schneidwerken an den Schrägförderer stellt insbesondere bei Mähdreschern mit Hangausgleich durch das Fahrwerk eine Herausforderung dar. Stellung zum Boden und Winkel zwischen Schneidwerk und Boden müssen unter allen Bedingungen konstant gehalten werden. Beispielhaft wird die Entwicklung einer Schneidwerksanbindung für einen Mähdrescher mit Hangausgleich detailliert aufgezeigt [32].

Wünschenswert ist eine Keimunfähigkeit von Unkrautsamen, insbesondere wenn sie Resistenzen gegen Herbizide ausgebildet haben, die mit den Nichtkornbestandteilen (NKB) wieder auf das Feld gelangen. Über die Nachschaltung einer Mühle für den Reinigungsübergang

wurde bereits berichtet. Nun sind von den Entwicklern weitere Details zu der nötigen Stoßenergie publiziert worden [33; 34].

Antriebstechnik, Fahrwerke

Viele Publikationen beschäftigen sich mit der Antriebstechnik der Arbeitselemente und des Fahrwerks. Im Vordergrund steht dabei häufig die anforderungsgerechte Auslegung für effiziente Antriebe. Die Fahrtriebe sind in der Regel hydrostatische Antriebe mit nachgeschalteter mechanischer Untersetzung. Ein Überblick über derartige Antriebe und die Entwicklungspotentiale gibt [35]. Umfassend wurde die Effizienzbewertung dieser und alternativer Antriebe für mobile Arbeitsmaschinen untersucht [36]. Für die Untersuchung von Fahrtrieben müssen diese reproduzierbar und unter gleichen Bedingungen erprobt werden. Deshalb wurde an der TU München hierfür ein Prüfstand entwickelt und in Betrieb genommen [37]. Damit werden auch Vergleiche von hydrostatischen und elektrischen Antrieben durchgeführt [38]. Ein ähnlicher Vergleich im Feldeinsatz zeigt vergleichbare Ergebnisse [39]. Häufig wird bei diesen Untersuchungen ein kostenoptimierter hydrostatischer Antrieb mit einem neu entwickelten effizienzoptimierten Antrieb verglichen. Elektrische Antriebe werden sich wohl nur durchsetzen, wenn neben Vorteilen beim Wirkungsgrad auch die leichtere Regelbarkeit genutzt wird. Dies zeigt sich auch bei den Diskussionen zu den Erfahrungen mit elektrischen Antrieben bei Landmaschinen und zu neuen variabel angetriebenen Elementen bspw. bei Schneidwerken [40; 41].

Neben hydrostatischen haben auch mechanische Antriebe noch Potentiale. So erfüllen Keilriemen dank neuer Werkstoffe und Technologien weiterhin die Anforderungen von Großmähdreschern [42]. Durch systematische Anwendung des Baukastenkonzepts können kostengünstige und auch effiziente mechanische Antriebslösungen entwickelt werden [43].

Für die Auslegung aller Antriebe müssen aber zuerst die Lastkollektive ermittelt werden. In einem größeren industriefinanzierten Projekt wird in Hohenheim an Mähdreschern der Leistungsbedarf, die Leistungsverteilung und die Lastkollektive aller relevanten Antriebe und Baugruppen im Feldeinsatz erfasst [44 bis 46]. Diese Informationen sind auch Basis für die Gestaltung drehzahlentkoppelter Antriebe.

Steigende Motorleistung der größten Mähdrescher und die Abgasnormen erfordern deutlich vergrößerte Kühlleistungen. Claas hat deshalb ein neues Kühlkonzept erstellt, bei dem die flach liegenden Kühler an der höchsten, staubärmsten Stelle des Mähdreschers angeordnet sind. Die Kühlluft wird von oben angesaugt und seitlich aus der Maschine geblasen. So wird auch Staub von der Maschine abgehalten [47].

Stoffeigenschaften und Qualitätsmerkmale

Die Qualität des geernteten Getreides beeinflusst den Erlös. Die frühzeitige Erkennung von Partien mit ungünstigen Inhaltsstoffen kann die Vermischung mit hochwertigen Partien verhindern helfen und somit den Erlös hoch halten. Neben dem Proteingehalt wird seit ein paar Jahren an der Erkennung einer Mykotoxinbelastung gearbeitet. Neben Nahinfrarotspek-

trometrie NIRS ist die Bildverarbeitung zur Erfassung von Verfärbungen ein zusätzliches Mittel um die Erkennungsrate zu verbessern [48].

Körnerbruch deutet in der Regel auch auf eine ungünstige Maschineneinstellung hin. Körnerbruch ist auch abhängig von Gutart, Sorte und Gutfeuchte. Analog zur Dauerfestigkeit von Metall lässt sich auch die Belastung von Getreidekörnern darstellen. Eine mehrfache mechanische Belastung kann die Dauerfestigkeit von Korn überschreiten und ihre Zeitfestigkeit wird erreicht [49]. Es wird versucht die Größe der Belastungen bzw. angebrochene Körner durch Mikrophone oder durch Bildanalyse zu erfassen [50 bis 52].

Die Bearbeitungsintensität des Strohs im Dreschwerk ist auch ein Hinweis auf die Bearbeitungsintensität der Körner. Bei Schwadablage ist dessen Volumen ein Zeichen für die Bearbeitungsintensität [53]. Hilfreich für die Beurteilung ist auch eine Halm- bzw. Partikellängenmessung. Um den Zeitaufwand hierfür zu reduzieren wurden verschiedene optische Partikelmesssysteme entwickelt und erprobt [54 bis 57]. Sie erfassen ein zweidimensionales Bild des Partikels. Die dritte Dimension bei geknickten Halmen oder dicken Partikeln wird nicht erfasst. Die hohen Auflösungen erlauben dagegen die Beurteilung der Halm- bzw. Partikelstruktur, insbesondere bei gehäckseltem Stroh. Für den nachfolgenden Verrottungsprozess ist es hilfreich, wenn die Partikel aufgespleißt sind. Jedoch ist eine zu starke Aufspaltung mit hohem Energieeinsatz beim Häckseln verbunden.

Simulation

Publikationen zur Simulation von Mähdreschern und deren Dresch-, Trenn- und Reinigungseinrichtungen nehmen stark zu. Zu betonen sind hierbei die nötigen Parameterermittlungen sowie die erforderliche Verifizierung und Validierung der Modelle. Nur dann können diese Modelle als anwendbar bezeichnet werden.

Der Mähdrescher kann als eine Black-Box und seine Ein- und Ausgangswerte in Abhängigkeit der Maschineneinstellung betrachtet werden [58]. Mit in dem Modell integrierten virtuellen Sensoren kann das Verständnis der Prozesse gefördert, mit daran angekoppelten Regelalgorithmen die Maschineneinstellung optimiert werden.

Die Kinematiksimulation einer Haspel ermöglicht die Entwicklung ihrer Einstellmöglichkeiten zu erleichtern. In Kombination mit einem Modell des zu erntenden Halmes können die konstruktiven Parameter und die Arbeitsweise der Haspel weiter optimiert werden [59; 60].

Für die Simulation von Getreidekörnern in einem Dreschwerk sind als Grundlage deren Stoßzahl in Abhängigkeit vom Stoßpartner und den Aufprallgeschwindigkeiten zu ermitteln [61; 62]. Mit diesem Parameter kann dann auch der Zusammenprall eines Korns mit einer Schlagleiste simuliert und bspw. die Auswirkung auf eventuellen Körnerbruch untersucht werden.

Für die Simulation der Förder-, Trenn- und Abscheideprozesse auf dem Hordenschüttler nach der Diskreten Elemente Methode (DEM) muss neben dem Körnermodell auch ein Strohmodell entwickelt werden. Es erscheint günstig, ein Modell speziell für diesen Zweck zu entwickeln, **Bild 2**. Die Interaktion von Korn und Stroh, Korn und Schüttler sowie Stroh und Schüttler ist im Modell abzubilden. Mit den Partikeln können einfache Versuchsstände

simuliert und die Ergebnisse aus Simulation und Experiment miteinander verglichen werden. Durch Anpassung der Partikeleigenschaften und der Interaktionsparameter können die Versuchsergebnisse an die des Prüfstandes angepasst werden. Danach sind allerdings noch weitere Versuche mit anderen Prüfständen für die Validierung nötig [63 bis 67]. Für die sonstigen Arbeitselemente des Mähdreschers gilt das vergleichbare Vorgehen.

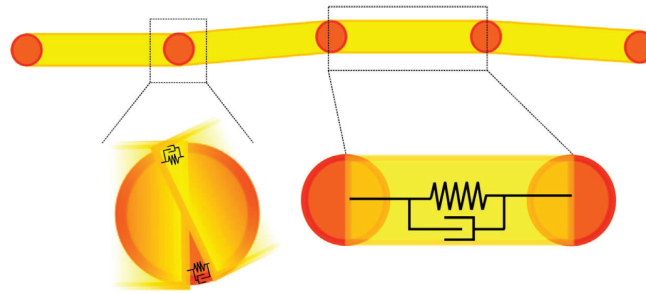


Bild 2: Biegsames Strohmodell nach der Diskreten Elemente Methode DEM [67]

Figure 2: Bendable straw model by Discrete Element Modeling DEM [67]

Anhand der Simulation der Gutbewegung und -förderung auf dem Vorbereitungsboden wurde die Anwendbarkeit von verschiedenen Programmen erprobt [68]. Die Fördervorgänge auf den Sieben der Reinigungsanlage sind mit dem Vorbereitungsboden vergleichbar. Deshalb liegt es nahe, zuerst nur mithilfe der DEM die Simulation aufzubauen. Allerdings zeigt sich schnell, dass die Luftströmung in der Reinigung mit Hilfe der numerischen Strömungssimulation (Continuous Fluid Dynamic - CFD) zusätzlich simuliert werden muss [69]. Für die Verifizierung und Validierung einer modellierten Reinigungsanlage gelten dieselben Regeln, wie oben für die Hordenschüttler erwähnt [70].

Die generellen Möglichkeiten von CFD bei der Entwicklung von Mähdrescher sind in [71] dargestellt. In der Verbindung von CFD und DEM lassen sich dann Partikelbewegungen auf luftdurchströmten Sieben abbilden. Für eine erste Verifizierung kann zuerst das Strömungsfeld in der Reinigungsanlage simuliert und mit Messungen an einer realen Anlage überprüft werden [73 bis 75].

Elektrik, Elektronik, Bedienung und Automatisierung

Die Regelung und Automatisierung ist abhängig von guten Informationen über die Ein- und Ausgangsgrößen des Mähdreschers. Der Durchsatz kann heute erst näherungsweise im Schneidwerk, im Schrägförderer oder im Dreschwerk bestimmt werden. Der Korndurchsatz wird mit recht hoher Genauigkeit aber erst im Körnerelevator bestimmt. Die Ermittlung der Bestandsdichte kurz bevor der Mähdrescher ihn erntet ermöglicht die frühzeitige Anpassung der Maschineneinstellungen. Ein erneuter Ansatz zur Bestimmung der Bestandsdichte direkt vor dem Schneidwerk wird vorgestellt [76]. Allerdings ist das Messprinzip erst im Labor an einem kleinen, künstlichen Bestand im Stand erprobt worden.

Der Nutzen einer automatisierten Mähdreschereinstellung ist schwer zu bewerten. Es ist ein Verfahren vorgestellt worden, bei dem die Opportunitätskosten bei manueller und bei auto-

matischer Maschineneinstellung ermittelt werden [77]. Das Verfahren ist stark abhängig von den Rahmenbedingungen beim einzelnen Landwirt. Deshalb werden keine allgemeinen Aussagen über die Vorzüglichkeit der automatisierten Einstellung gemacht.

Zur Verbesserung der Ergonomie auf Mähdreschern wurde von den großen Herstellern bereits erfolgreich die Schallbelastung in den Kabinen reduziert. Für einen kleineren Mähdrescher aus Korea wurden kostengünstige Schalldämmungsmaßnahmen eingeführt und die Verbesserungen von ca. 1,85 dB dokumentiert [78].

Einsatz und Logistik

Neben der Optimierung der Arbeitselemente des Mähdreschers und deren Einstellungen beeinflussen der Maschineneinsatz und die gesamte Logistik der Getreideernte den Erlös des Landwirts oder Lohnunternehmers [79]. Deshalb werden weiterhin Anstrengungen unternommen, um die Anwender bei Einsatz und Logistik zu unterstützen. Neben der Ernte werden aber auch Daten ermittelt, die für die weitere Einsatzplanung, die Abrechnung und die Optimierung verwendet werden können [80].

Für das gezielte Abernten eines Feldes werden die günstigsten Routen berechnet. Hierfür ist ein Modell des Mähdreschers nötig, um entsprechend seiner Größe und Wendigkeit auf dem Feld zu navigieren [81]. Auf dem Feld können sich mehrere Mähdrescher und Überladefahrzeuge sowie am Feldrand entsprechende Transportfahrzeuge befinden. Dieser Einsatz ist nicht im Detail voraus planbar. Deshalb ist ein dynamisches Planungs- und Überwachungssystem, auch für die Ernteabfolge im Feld, notwendig. Damit kann spontan auf Abweichungen von der Planung reagiert werden [82; 83]. Eine Systemarchitektur, die ein angepasstes Verhalten aller beteiligten Maschinen an nicht präzise vorhersagbare Umgebungsbedingungen und daher nicht völlig spezifizierbare Prozesse ermöglicht, ist vorgestellt worden [84].

Energieeffizienz

Hinter den meisten hier dargestellten Bemühungen steckt der Versuch, dem Anwender eine Maschine bzw. ein System mit bestmöglichem wirtschaftlichem Ertrag zur Verfügung zu stellen. Zudem besteht immer mehr die Frage nach der Energieeffizienz. Neben den Kraftstoffkosten für den Anwender wird zunehmend wegen den gesellschaftlichen bzw. politischen Vorgaben auf die CO₂-Reduktion beim Maschineneinsatz geachtet. Erste Möglichkeiten zur Erfassung und Modellierung der Treibhausgasemissionen bei der Getreideernte sind erfolgt [85]. Es muss allerdings die gesamte Kette für die Getreideproduktion betrachtet werden. Auch hier sind erste Ansätze veröffentlicht [86].

Literatur

- [1] –,: AEM Ag Tractor and Combine Report. <http://aem.org/MarketInfo/Stats/>
- [2] Persönliche Mitteilung VDMA, 01.03.2014
- [3] Böttinger, S.: Stand und Tendenzen der Mähdrusch-Entwicklung. In [6], S. 7-12.
- [4] CIGR-AgEng 2012 International Conference of Agricultural Engineering, Valencia, 08./12.07.2012. http://cigr.ageng2012.org/comunicaciones-online/htdocs/principal.php?seccion=index_posters.
- [5] VDI-MEG Tagung Landtechnik 2012, Karlsruhe 06./07.11.2012. VDI-Berichte Nr. 2173. Düsseldorf: VDI Verlag 2012.
- [6] VDI-MEG Tagung Landtechnik für Profis 2013, Technik für Getreideernte, Harzewinkel, 23./24.01.2013. VDI Berichte Nr. 2192. Düsseldorf: VDI Verlag 2013.
- [7] ASABE Annual Meeting, 21./24.07.2013, Kansas City, Missouri, USA.
- [8] VDI-MEG Kolloquium „Mähdrescher“, 12./13.09.2013 Stuttgart/Hohenheim, Heft 40. http://opus.ub.uni-hohenheim.de/volltexte/2013/890/pdf/VDI_MEG_Kolloquium_Landtechnik_Heft40_Maehdrescher.pdf.
- [9] VDI-MEG Tagung Landtechnik AgEng 2013 Hannover 08./09.11.2013. VDI Berichte Nr. 2193. Düsseldorf: VDI Verlag 2013.
- [10] N.N.: Neuheitenmagazin agritechnica 2013. http://www.agritechnica.com/uploads/media/AGT_2013_Neuheitenmagazin.pdf, 28.02.2014.
- [11] Terörde, S., Brinkmann, J. und Heitmann, C.: An automatic sidewind compensation for the radialspreader of a combine harvester. In [9], S. 359-366.
- [12] Nerinckx, G., Duquesne, F. und Missotten, B.: Variable speed strawwalkers – A way to increase productivity and automation of conventional combines. In [9], S. 333-338.
- [13] Wagemann, S. und Tilly, T.: Entwicklung eines Lenkachssystems für Großmähdrescher im Spannungsfeld steigender Anforderungen. Antriebstechnisches Kolloquium 2013, 19./20.03.2013, Aachen, Tagungsband, S. 327-344.
- [14] Böttinger, S.: Mähdrescher. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2012. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2012. – S. 1-14. <http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00043454>.
- [15] Böttinger, S.: Mähdrescher-Forschung für die Praxis. In [6], S. 25-32.
- [16] Garbers, H.: Ernte und Ernteprozesse von Mähdruschfrüchten – Trends und Entwicklungen. In [6], S. 5-14.
- [17] Herlitzius, T.: Mähdrescher – Quo Vadis? In [6], S. 99-108.
- [18] Leth Bilde, M., Döll, H. und Herlitzius, T.: Combine with 3 axles – Soil friendly and energy efficient. In [9], S. 367-377.
- [19] Lundin, G.: Grain Harvesting in Sweden and related research at JTI. In [8], S. 95-102.
- [20] Guha, N. und Forkert, S.: Newest trends in grain harvesting in India. In [8], S. 69-76.

- [21] Gummert, M. und Hien, P.H.: Combine harvesting in South and Southeast Asia: current status and trends. In [8], S. 103-122.
- [22] Saeidirad, M.H., Esaghazade, M., Arabhosseini, A. und Zarifneshat, S.: Influence of machine-crop parameters on the threshability of sorghum. Agric. Eng. Int.: CIGR Journal 15 (2013) H. 3, S. 55-59.
- [23] Chico-Santamarta, L., Masebu, H., White, D.R., Godwin, R.J. und Crook, M.: The development of an improved stripping mechanism for sorghum harvesting. ASABE Paper No. 131620136.
- [24] Singh, M., Kumar, R., Sharma, A., Singh, B., Mishra, P.K. und Sharma, K.: Evaluation of yield monitoring system installed on indigenous grain combine harvester for rice crop. Agric. Eng. Int.: CIGR Journal 15 (2013) H. 3, S. 148-153.
- [25] Kloepfer, F.: Verfügbare Mähdruschstunden. In [6], S. 33-41.
- [26] Prochnow, A., Hoffmann, T., Chmielewski, F. und Risius, H.: Verändert der Klimawandel Erntezeitspannen und verfügbare Mähdruschstunden in Brandenburg? In [8], S. 123-128.
- [27] Rademacher, T.: Der Einfluss von Adaptionsmaßnahmen an den Druschfruchtbestand auf das Arbeitsergebnis des Mähdreschers. In [6], S. 43-62.
- [28] Rademacher, T.: Methodik zur Messung von Arbeitsqualität und Verlust-Durchsatz-Verhalten von Mähdreschern unter Feldbedingungen. In [8], S. 83-94.
- [29] Zippert, B. und Schwersmann, B.: Messmethode zur Bestimmung der Mähdrescher-Durchsatzleistung im Feld - Wiegemesstechnik (WMT). In [8], S. 77-82.
- [30] Timofeev, A.: Förderung und Entmischung auf dem Vorbereitungsboden des Mähdreschers. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG) 527. Dissertation Universität Hohenheim 2013. Aachen: Shaker Verlag 2013.
- [31] Schreiber, C.P., Krzywinski, J. und Herlitzius, T.: New Combine to Header Connection-Concept for very wide platforms – Foldable header with 18m cutting width and 18 m transport length including the combine. In [9], S. 515-522
- [32] Brand, A. und Kortenjann, L.: Design and rollout of a hillside feederhouse for modern combines. In [8], S. 147-152.
- [33] Berry, N. K., Saunders, C. und Fielke, J.M.: Relating the power requirement of the Harrington Seed Destructor to chaff throughput. In [4], Paper C1968
- [34] Berry, N.K., Fielke, J.M. und Saunders, C.: Determination of impact energy to devitalize annual ryegrass (*Lolium rigidum*) seed from one impact using double and single sided impacts. Biosystems Engineering 118 (2014), S. 138-146.
- [35] Anderl, T., Vogl, K.-H., Schmid, F. und Kliffken, M.: Hydrostatische Fahrtriebe – Status und Perspektiven. Antriebstechnisches Kolloquium 2013, 19./20.03.2013, Aachen, Tagungsband, S. 255-276
- [36] Fleczonek, T.: Effizienzbewertung von Antrieben mobiler Arbeitsmaschinen am Beispiel eines Mähdreschers. Forschungsberichte aus dem Institut für mobile

- Maschinen und Nutzfahrzeuge. Dissertation Technische Universität Braunschweig 2013. Aachen: Shaker Verlag 2013.
- [37] Heckmann, M., Zoltan, G., Huber, S., Kammerloher, T. und Bernhardt, H.: Entwicklung eines Prüfstandes für Fahrtriebssysteme in mobilen Arbeitsmaschinen. Landtechnik 68 (2013) H. 6, S. 415-419.
- [38] Heckmann, M. und Bernhardt, H.: Comparative analysis of hydrostatic and electric rear axle traction drives, including in-field-tests. In [9], S. 137-142.
- [39] Wöbcke, S., Lindner, M. und Herlitzius, T.: Systemvergleich zwischen elektrischem und hydraulischem Fahrtrieb einer selbstfahrenden Erntemaschine. In [5], S. 321-328.
- [40] Götz, M., Himmelsbach, R. und Grad, K.: Elektrifizierung bei Landmaschinen – Konzepte und praktische Erfahrungen. Antriebstechnisches Kolloquium 2013, 19./20.03.2013, Aachen, Tagungsband, S. 277-292.
- [41] Wöbcke, S., Herlitzius, T., Schuffenhauer, U., Michalke, N., Seyfarth, J., Hornberger, P., Mörtl, F. und Müller, M.: Elektrifiziertes Antriebssystem für Mähdrescherschneidwerke. In [8], S. 41-50.
- [42] Tilly, T.: Keilriemenantriebe - genug Potential für zukünftige Großmähdrescher? In [8], S. 51-58.
- [43] Furmaniak, J. und Tilly, T.: Entwicklung eines modularen Antriebstechnikbaukastens am Beispiel eines Vorsatz- und Einzugsantriebes für eine moderne Mähdrescherbaureihe. In [5], S. 291-297.
- [44] Müller, C., Böttinger, S. und Anderl, T.: Process dependent load and power spectra of combine harvester drives. In [9], S. 169-174.
- [45] Müller, C., Häberle, S., Böttinger, S. und Anderl, T.: Lastkollektive von Mähdrescherantrieben für spezifische Teilaufgaben beim Mähdrusch. In [8], S. 33-40.
- [46] Müller, C., Böttinger, S. und Anderl, T.: Untersuchungen zum Leistungsbedarf und zur Leistungsverteilung bei Mähdreschern. In [5], S. 285-290.
- [47] Brockmann, M. und Brandhofe, K.: Entwicklung eines Kühlkonzeptes unter Berücksichtigung spezieller Anforderungen eines Mähdreschers. In [5], S. 271-275.
- [48] Berberich, J., Risius, H., Huth, M. und Hahn, J.: Investigation of continuous imaging analysis of grain quality on a combine harvester. In [4], Paper C0485.
- [49] Mümken, P., Baumgarten, J. und Böttinger, S.: Basic study of broken grain – Why, how and when breaks the grain? In [9], S. 351-357.
- [50] Zhao, Z., Li, Y., Liang, Z. und Gong, Z.: DEM simulation and physical testing of rice seed impact against a grain loss sensor. Biosystems Engineering 116 (2013) S. 410-419.
- [51] Buerano, J., Zalameda, J. und Ruiz, R.S.: Microphone system optimization for free fall impact acoustic method in detection of rice kernel damage. Computers and Electronics in Agriculture 85 (2012) S. 140-148.
-

- [52] Delwiche, S.R., Yang, I.-C. und Graybosch, R.A.: Multiple view image analysis of freefalling U.S. wheat grains for damage assessment. *Computers and Electronics in Agriculture* 98 (2013) S. 62-73.
- [53] Lenaerts, B., Missotten, B., De Baerdemaeker, J. und Saeys, W.: LiDaR sensing to monitor straw output quality of a combine harvester. *Computers and Electronics in Agriculture* 85 (2012) S. 40-44.
- [54] Mümken, P., Böttinger, S. und Baumgarten, J.: Computerunterstützte photooptische Partikelanalyse – Erweiterung der Messaufgaben im Bereich der Erntetechnik. In [5], S. 467-473.
- [55] Rechberger, C., Prankl, J., Obernberger, G., Handler, F. und Prankl, H.: Automated particle length distribution analysis of forage materials by means of computer vision. In [4], Paper C0661.
- [56] Rechberger, C., Prankl, J., Obernberger, G., Handler, F. und Prankl, H.: Automatisierte Bestimmung der Partikellängenverteilung von Grassilagen anhand bildanalytischer Methoden. In [5], S. 257-262.
- [57] Savoie, P., Audy-Dubé, M.-A., Pilon, G. und Morissette, R.: Chopped forage particle size analysis in one, two and three dimensions. *ASABE Paper No.* 131620148.
- [58] Eggerl, A., Bösch, H., Bruns A. und Wöbcke, S.: Model-based development of control algorithms for optimizing combine processes In [8], S. 59-68.
- [59] Oduori, M.F., Mbuya, T.O., Sakai, J. und Inoue, E.: Kinematics of the tined combine harvester reel. *Agric. Eng. Int.: CIGR Journal* 14 (2012) H. 3, S. 53-60.
- [60] Odouri, M.F., Mbuya, T.O., Sakai, J. und Inoue, E.: Modeling of crop stem deflection in the context of combine harvester reel design and operation. *Agric. Eng. Int.: CIGR Journal* 14 (2012) H. 2, S. 21-28.
- [61] Xu, L.: Theoretical Analysis and Finite Element Simulation of a Rice Kernel Obliquely Impacted by a Threshing Tooth. *Biosystems Engineering* 114 (2013), S. 146-156
- [62] Mümken, P., Baumgarten, J. und Böttinger, S.: Stoßzahlermittlung von Weizen bei hohen Aufprallgeschwindigkeiten. In [8], S. 19-26.
- [63] Frerichs, L., Jünemann, D. und Kattenstroth, R.: Prozesssimulation von Halmgütern mittels der Diskreten Elemente Methode (DEM). In [5], S. 371-377.
- [64] Hanke, S., Kattenstroth, R. und Frerichs, L.: Ausrichtung von Halmgut vor dem Mähdrescherhäcksler - Ergebnisse aus Simulation und Prüfstandsversuchen. In [8], S. 13-18.
- [65] Jünemann, D., Kemper, S. und Frerichs, L.: Prozesssimulation von Halmgut – Einsatzmöglichkeiten der Diskrete-Elemente-Methode. *Landtechnik* 68 (2013) H. 3, S. 164-167
- [66] Lenaerts, B., Tijssens, E., De Baerdemaeker, J. und Saeys, W.: Simulation of grain-straw separation by a discrete element approach with bendable straw particles. In [4], Paper C0861.
- [67] Lenaerts, B., Aertsen, T., Tijssens, E., De Ketelaere, B., Ramon, H., De Baerdemaeker, J. und Saeys, W.: Simulation of grain-straw separation by Discrete Element Modeling

- with bendable straw particles. *Computers and Electronics in Agriculture* 101 (2014), S. 24-33.
- [68] Schwarz, M., Pfortner, J., Mümken, P. und Böttinger, S.: Gutbewegungsvorgänge auf dem Vorbereitungsboden, Erfahrungen mit der DEM Software PASIMODO. In [5], S. 363-369.
- [69] Ni, K., Du, X., Chen, S., Chen, J. und Zhao, Y.: Study on grain distribution in a cross-flow grain separation chamber based on the Discrete Element Method. *ASABE Paper No. 131586216*.
- [70] Pfortner, J. und Böttinger, S.: Validierungsstrategie für DEM-Modelle von Mähdrescherbaugruppen. In [8], S. 27-32.
- [71] Bölling, R., Diekhans, S. und Westphal, O.: Einsatz der numerischen Strömungssimulation bei der Entwicklung von Erntemaschinen. In [5], S. 387-395.
- [72] Li, H., Li, Y., Gao, F., Zhao, Z. und Xu, L.: CFD-DEM simulation of material motion in air-and-screen cleaning device. *Computers and Electronics in Agriculture* 88 (2012), S.111-119.
- [73] Korn, C., Hübner, R., Herlitzius, T., Rüdiger, F. und Fröhlich, J.: Numerische Untersuchung der Luftströmung in der Reinigungseinrichtung von Mähdreschern. *Landtechnik* 68 (2013) H. 2, S. 83-88.
- [74] Korn, C., Herlitzius, T. und Rüdiger, F.: Numerische Untersuchung der Luftströmung in der Reinigungseinrichtung des Mähdreschers. In [5], S. 379-386.
- [75] Biggerstaff, J. und Secrest, R.: Cleaning shoe airflow distribution measurement method. In [9], S. 339-344.
- [76] Farmanesh, A. und Shamsi, M.: Experimental method to estimate crop density by laser beam. In [4], Paper C1817.
- [77] Heitmann, C. und Baumgarten, J.: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu einer auf CEMOS basierenden Optimierung eines Mähdreschers. In [5], S. 277-283.
- [78] Kim, C.H., Kim, M.H., Baek, G.Y., Park, T.J., Kim, M.I. und Kim, H.T.: Sound insulation impact in the combine cabin. In [4], Paper C1959.
- [79] Engelhardt, D., Zimmermann, N. und Bernhardt, H.: Organisation der Getreideernte - Einflussfaktoren und Chancen. In [6], S. 71-80.
- [80] Dölger, D. und Schuppenhauer, H.: Thema: Körner und Daten Ernten. In [6], S. 91-97.
- [81] Zhang, Z., Noguchi, N. und Ishii, K.: Development of a combine harvester model for navigation simulation. In [4], Paper C0018.
- [82] Reinecke, M., Grothaus, H.-P., Hembach, G., Scheuren, S. und Hartanto, R.: Dynamic and distributed infield-planning system for harvesting. *ASABE Paper No. 131574280*.
- [83] Reinecke, M., Schäperkötter, C., Grothaus, H.-P., Stiene, S., Hartanto, R. und Scheuren, S.: Dynamisches, verteiltes Infield-Planungssystem für die Getreideernte. In [5], S. 127-132.
- [84] Steckel, T. und Griepentrog, H.W.: Dynamisch adaptive Systemarchitektur zur Optimierung der Prozesssteuerung am Beispiel der Getreideernte. In [8], S. 129-138.
-

- [85] Fillingham, R., Blackmore, S., Clare, D., White, D. R. und Korte, H.: Measuring and modeling the greenhouse gas emissions of grain harvesting systems. In [9], S. 379-386.
- [86] von Toll, C. und Meyer, H.J.: Energieorientierte Analyse in der Getreideproduktion. Landtechnik 68 (2013) H. 5, S. 327-332.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Böttinger, Stefan: Mähdrescher. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2013. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2014. S. 1-14

Zitierfähige URL

<http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00055024>

Link zum Beitrag

<http://www.jahrbuch-agrartechnik.de/index.php/artikelansicht/items/154.html>